

### 3次元σ座標系モデルを用いた博多湾における集中豪雨後の塩分動態解析 Salinity analysis after heavy rainfall in Hakata Bay using 3-dimensional σ-coordinate model

○福田晃大<sup>\*1</sup>・田畑俊範<sup>\*2</sup>・平松和昭<sup>\*2</sup>・原田昌佳<sup>\*2</sup>  
Akihiro Fukuda, Toshinori Tabata, Kazuaki Hiramatsu, Masayoshi Harada

1. はじめに 近年、気候変動により頻発する集中豪雨は陸域への甚大な被害のみならず、赤潮・貧酸素水塊の発生といった閉鎖性海域の水環境悪化ももたらしている。その発生要因としては、突発的大量の栄養塩負荷流入、強い塩分成層の形成、さらには凝集沈殿物が低塩水に曝され解離することによる赤潮生物の海水中への放出(飯盛, 2014)等が挙げられるが、未だ現象の解明には至っていない。増加傾向にある集中豪雨による閉鎖性海域への影響評価は重要であり、これにはまず海域内の物理・化学的環境を支配する塩分動態の3次元解析が必要不可欠と言える。そこで本研究では、九州北部に位置する博多湾を対象に、沿岸海域での適用性が高い3次元σ座標系モデルを用いて、集中豪雨後の大規模出水の影響を考慮した塩分動態解析を行った。

2. 本モデルの概要 本モデルでは、基礎方程式である3次元 Reynolds 方程式および乱流拡散方程式にσ座標変換を施した。σ座標系では、 $h$ および $\eta$ をそれぞれ静水面に基準をとる水深(m)・水位(m)とし、 $\sigma=(z+h)/(h+\eta)$ の座標変換式に従い、水面を $\sigma=1$ 、底面を $\sigma=0$ に規格化する。このことで鉛直層数が水深によらず同数となり、浅い箇所を高解像度に保つことができる。座標変換後の乱流拡散方程式を示す。

$$\frac{\partial(HS)}{\partial t} + \frac{\partial(HuS)}{\partial x} + \frac{\partial(HvS)}{\partial y} + \frac{\partial(Hw_s S)}{\partial \sigma} \quad (1)$$

$$= \frac{1}{H^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( K_\sigma \frac{\partial(HS)}{\partial \sigma} \right) + HK_H \left( \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} \right)$$

ここに、 $t$ は時間(s)、 $(u, v)$ は $(x, y)$ 方向の流速(m/s)、 $w_s$ はσ座標系における鉛直流速(1/s)、 $H = \eta + h$ は全水深(m)、 $S$ は塩分(psu)、 $K_H$ および $K_\sigma$ はそれぞれ水平方向および鉛直方向の渦動拡散係数(m<sup>2</sup>/s)である。数値解法としては、佐々木ら(1996)による半陰解法に基づくアルゴリズムを適用した。水平方向の渦動粘性係数・拡散係数の算定には Smagorinsky モデルを用いた。鉛直方向の渦動粘性係数・拡散係数はコルモゴロフの相似仮説を用いれば、

$$A_z = l^2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right]^{1/2} \sqrt{1 + R_i / P_r} \quad (2)$$

$$K_z = A_z / P_r \quad (3)$$

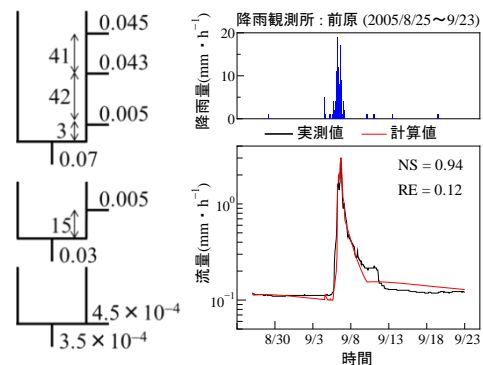


Fig.1 瑞梅寺川におけるタンクモデルおよび実測値と計算値との比較  
Tank model of Zuibaiji Riv. and comparison of observed and calculated river discharges.

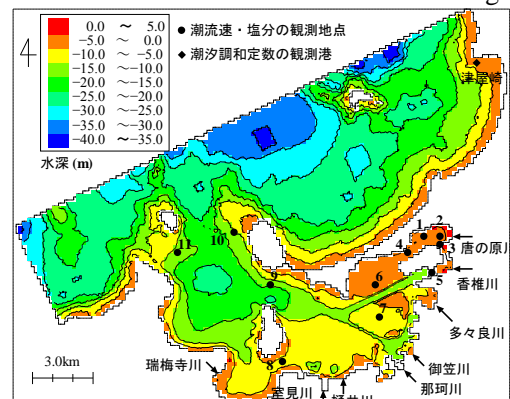


Fig.2 博多湾の海底地形  
Bathymetry of Hakata Bay

<sup>\*1</sup>九州大学大学院生物資源環境科学府/Graduate School of Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

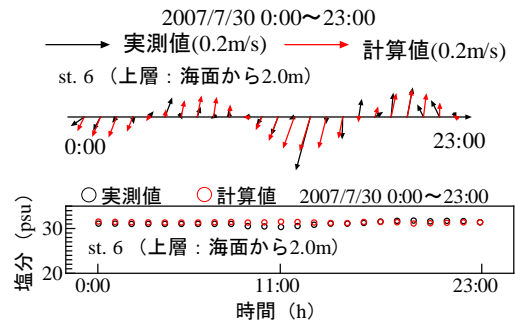
<sup>\*2</sup>九州大学大学院農学研究科/Faculty of Agriculture, Kyushu University キーワード：3次元σ座標系モデル、赤潮・貧酸素水塊、タンクモデル、集中豪雨、博多湾

となる (佐々木ら, 1996).  $A_z$  は鉛直方向の渦動粘性係数 ( $m^2/s$ ) であり,  $l$  は混合距離 ( $m$ ),  $R_f$  はリチャードソン数,  $P_r$  は乱流プラントル数である. また, 河川の流量算定にはタンクモデルを用いた. 博多湾西部に流入する瑞梅寺川におけるタンクモデルおよび 2005 年 8 月 25 日~9 月 23 日における実測値と計算値を Fig.1 示す. 計算値は実測値を概ね一致している. このタンクモデルを用いて Fig.2 に示す各河川の流量を算定した. 本モデルの検証を行うため, 潮流速と塩分の実測値が得られた 2007 年 7 月 18 日~8 月 2 日を対象に再現計算を行った. 博多湾の対象計算領域 Fig.2 に示す. 湾口潮位は津屋崎において観測された潮汐調和定数から算定した. 水平格子幅は 100m, 鉛直層数は 7, タイムステップを 20s とし, 7 月 30 日大潮日の地点 6 における 1 時間ごとの潮流速および塩分の実測値と計算値との比較を Fig.3 に示す. 計算値は概ね実測値と一致していることから, 本モデルの有用性が示された.

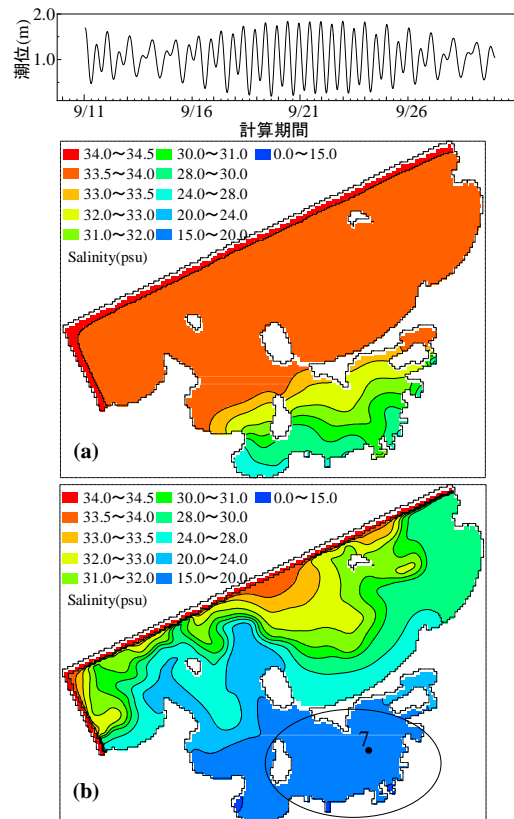
**3. 集中豪雨時の塩分動態解析** 本モデルを用いて, 日雨量 163.5mm を記録した 2002 年 9 月 16 日の集中豪雨を対象に解析を行った. 計算期間を 2002 年 9 月 11 日~30 日とし, 海域内の塩分分布を追跡した. 計算期間における湾口潮位変化および豪雨前後の表層塩分分布の計算結果を Fig.4 に示す. 図中の丸で囲った湾中央部は赤潮・貧酸素水塊が発生しやすい領域である. 湾奥部のほとんどは 20psu 以下となっており, 出水により流入する栄養塩も同様な挙動を示すほか, 凝集沈殿物が解離し赤潮生物が海水中に放出されることが考えられる. 丸領域内の地点 7 における塩分の時間変化を Fig.5 に示す. 上下層の塩分差が最大で 6psu 以上となり, 大きい濃度差が長時間維持する強い塩分成層の形成も確認でき, 湾内物質の鉛直混合が著しく抑制されると考えられる.

**4. おわりに** 本研究では, 集中豪雨による閉鎖性海域への影響評価の第一歩として, 集中豪雨後の海域内の塩分動態を解析することができた.

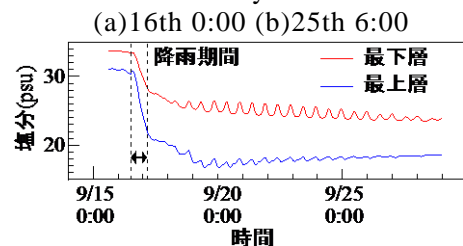
[参考文献] 飯盛啓生 (2014): 豪雨による有明海の海水の塩濃度変化と赤潮発生の関係, 自然災害研究協議連絡会西部地区部会報論文集, 38, 16-19; 佐々木淳・磯部雅彦・渡辺晃・五明美智男 (1996): 東京湾における青潮の発生規模に関する考察, 海岸工学論文集, 43, 1111-1115.



**Fig.3 潮流速・塩分の実測と計算値の比較**  
Comparison of observed and calculated tidal current velocities and salinities.



**Fig.4 湾口潮位と豪雨前後の表層塩分分布 (a)16日 0:00 (b)25日 6:00**  
Tide level at the open boundary and surface distribution of salinity before and after heavy rainfall.



**Fig.5 地点 7 における塩分の時間変化**  
Time series of salinity at St.7.